

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Elektroerozivní obrábění

Electroerosion Machining

Student:

Petr Kovář

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Petr Kovář

Adresa trvalého pobytu diplomanta: **Petr Kovář**

Sokolská 552

563 01 Lanškroun

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOVÁŘ, P. Elektroerozivní obrábění.: Katedra obrábění a montáže,
Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, Bakalářská práce,
vedoucí Doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním obrobených ploch, které jsou zhotoveny elektroerozivním obráběním na stroji Agie. Výzkum je realizován ve firmě FOREZ s.r.o.

Na úvod je zmíněn teoretický rozbor. Hlavní část se zabývá přípravou vzorků, průběhem obrábění, zapsáním výsledků do tabulek a vyfocení obrobené plochy. Na závěr jsou dané vzorky mezi sebou porovnány a daný experiment je celkově vyhodnocen.

ANOTATION OF THE BACHELOR THESIS

KOVÁŘ, P. Electroerosion Machining: Machining and Fabrication Institute,
VŠB Machine Faculty – Technical University of Ostrava, 2009, Bachelor Thesis,
head Doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

The bachelor thesis drala with the comparison of machine – cut surfaces made by electroerosion machine tool Agie. The research is done in the FOREZ s.r.o. company.

The introduction of the thesis is focused on theoretical analysis. The main part describes the preparation of the samples and further the process of machining itself. The results are written into the charts and photographs of the machine cut surfaces are enclosed. In conclusion the given samples are compared and finally there is the overall evaluation of the given experiment.

Obsah bakalářské práce

1. Úvod	1
2. Obecná charakteristika daného problému	2
2.1 Historie a údaje společnosti	2
3. Problematika elektroerozivního obrábění	3
3.1 Princip a fyzikální pochod úběru materiálu	3
3.2 Charakteristika výbojů	6
3.3 Dielektrikum	8
3.4 Nástrojové elektrody	11
3.5 Kvalita povrchu	13
3.6 Elektroerozivní stroje	15
3.7 Technologické aplikace elektroerozivního obrábění	15
3.7.1 Hloubení dutin záпустek a forem	15
3.7.2 Řezání drátovou elektrodou	16
3.7.3 Výroba složitých tvarových povrchů	19
3.7.4 Leštění povrchů	20
3.7.5 Výroba mikrootvorů	20
3.7.6 Elektrokontaktní obrábění	21
4. Návrh technologie pro konkrétní součást	22
4.1 Zhotovení vzorků	22
4.2 Použité elektrody	22
4.3 Stroj pro zhotovení vzorků	23
4.4 Materiál vzorků	23
5. Diskuze experimentu	24
5.1 Vzorek C – 1	25
5.2 Vzorek C – 2	25
5.3 Vzorek C – 3	26
5.4 Vzorek C – 4	27
5.5 Vzorek C – 5	27
5.6 Vzorek Cu – 6	28
5.7 Vzorek Cu – 7	29
5.8 Vzorek Cu – 8	29

5.9 Vzorek Cu – 9.....	30
5.10 Vzorek Cu – 10.....	31
6. Zhodnocení experimentu.....	32
7. Závěr.....	33
8. Seznam použitých pramenů.....	34
9. Seznam příloh.....	36

1 Úvod

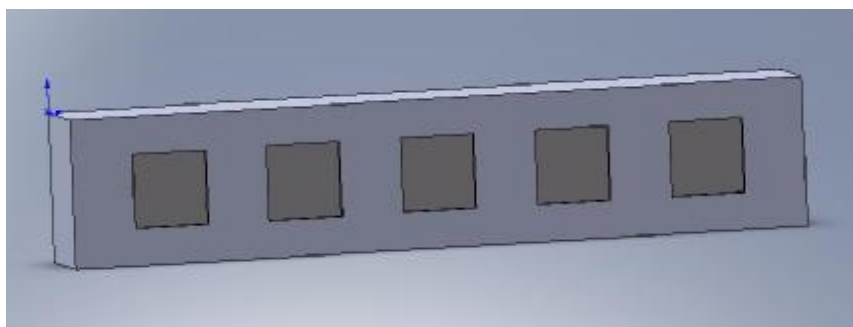
Ve strojírenství je stále častěji kladen důraz na snižování výrobních časů, kvalitu a přesnost opracování. Zvyšují se nároky na tvarovou složitost. Do výroby jsou zaváděny nové materiály, které kladou důraz na své přednosti ve vlastnostech, jako je například tvrdost, pevnost, otěruvzdornost, atd..

Z toho důvodu jsou zaváděny i nové metody obrábění. Řadí se sem, mimo jiné, nekonvenční metody, mezi které patří i elektroerozivní obrábění. Tato metoda se především používá pro těžko obrobitelné materiály, při výrobě lisovaných a střižných nástrojů a pro tvarově složité součásti.

Z hlediska efektivity je důležité zvolit vhodnou technologii výroby, zvolit vhodný obráběcí stroj, nástroje a materiál. Toto všechno se promítne v produktivitě práce, kde důležitou složkou jsou minimální náklady na obrábění.

2 Obecná charakteristika daného problému

Bakalářská práce je zhotovena pro firmu FOREZ s.r.o., hlavním úkolem je zjištění a ověření povrchových vrstev po elektroerozivním obrábění zkušebních vzorků. Vzorky jsou obrobena dvěma druhy nástrojových elektrod, při nestejných technologických podmínkách. Jsou porovnány a vyhodnoceny jejich příznivé a nepříznivé vlivy na obrobené ploše.



Obr. 1: Zkušební vzorek

2.1 Historie a údaje společnosti [8]

Společnost FOREZ s.r.o. byla založena v roce 1996. Dnes je se svými 192 zaměstnanci nástrojárnou střední velikosti, počtem konstrukčních kapacit však konkuruje největším nástrojárnám v České republice. Firma získala certifikát řízení jakosti ČSN EN ISO 9001:2001 a tím i možnost uspokojit nejnáročnější zákazníky.

Společnost se stala propagátorem nových trendů v oblasti obrábění. Je velmi dobře technologicky vybavena (mj. několik špičkových CNC a HSC CNC fréz, nejmodernější elektroerosivní drátové řezačky AGIE CUT nebo elektroerosivní hloubící stroje AGIE). Všechny výše uvedené CNC stroje jsou plně vytíženy a pracují nepřetržitě 24 hodin 7 dní v týdnu, což zaručuje pružnou reakci na zákaznickou požadavky. Právě velmi dobré technologické vybavení firmy, spolu se schopností dodávat kvalitní formy a nástroje pro technicky náročné výlisky firmám jako Robert Bosch, Witte, Schneider Electric, Visteon, Valeo a další, je hlavním důvodem pokračujícího růstu. Firmě se daří držet meziroční růst obrátu v rozmezí 20% - 40%.

Záměrem firmy je pokrýt v budoucnu co největší část výrobního cyklu subdodavatelů pro automobilový a elektro-technický průmysl. Nejen formu či nástroj nakreslit a vyrobit, ale i lisovat kovové a plastové výlisky a přiblížit se co nejvíce v oblasti tvorby konstrukčních modelů prvotní tvorbě designéra tak, abychom mohli nabízet ucelený servis od návrhu až k dodávce montážních celků.

3 Problematika elektroerozivního obrábění

Ve fyzice a fyzikální chemii se našly nové způsoby, které lze využít při obrábění. Na těchto základech se vyvinuly elektrochemické a elektrofyzikální metody obrábění. Novými metodami lze dosáhnout geometricky a technologicky náročných součástí a tvarových nástrojů. Velký podíl na vývoji těchto metod obrábění má především i to, že při obrábění nepůsobí na obrobek žádná síla a tuhé obrobky se nedeformují. Při elektroerozivním obrábění dochází k místnímu ohřevu mikroskopické vrstvy. Tyto metody se uplatňují při obrábění těžko obrobitelných materiálů, protože velikost úběru nezáleží na mechanických vlastnostech obrobku (tj. na pevnosti, tvrdosti apod.)

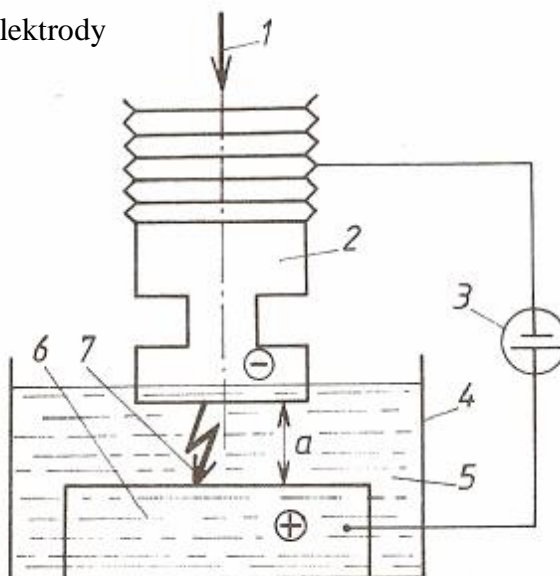
Důvody stále širšího zavádění fyzikálních technologií do průmyslu jsou: [1]

- rostoucí podíl těžkoobrobitelných materiálů v konstrukci strojů (tj. žárovevých a žárovzdorných ocelí, kalených ocelí a litin, keramických materiálů, slinutých kovů, titanových slitin, kompozitních materiálů atd.)
- možnost komplexního opracování i značně nepravidelných tvarů (vnějších i vnitřních)
- zvyšující se nároky na tvarovou složitost a rozměrovou přesnost součástí, zejména nástrojů, forem a zápusťek
- miniaturizace, tj. výroba přesných miniaturních součástí používaných zejména pro výrobu vyšetřovacích sond v medicíně, v řídicí a regulační technice
- vhodnost uplatnění v automatizovaných provozech, využití systémů CAD a CAM

3.1 Princip a fyzikální pochod úběru materiálu

Elektroerozivní obrábění patří do nekonvenčních metod obrábění, je to elektrotepelný proces, kde dochází k úběru materiálu elektrickými výboji mezi anodou (obrobek) a katodou (nástrojová elektroda) ponořenými do dielektrika (kapalina s vysokým elektrickým odporem). Obrábět lze pouze elektricky vodivé materiály. Při působení vysoké koncentrace energie ($10^5 - 10^7 \text{ W} \cdot \text{mm}^{-2}$) materiál taje a odpařuje se. Cílem je dosáhnout opakovatelnými výboji na anodě maximálního úběru materiálu a na katodě co nejmenšího úbytku.

- 1 – směr posuvu nástrojové elektrody
- 2 – nástrojová elektroda
- 3 – generátor
- 4 – pracovní vana
- 5 – tekuté dielektrikum
- 6 – obrobek
- 7 – elektrický výboj



Obr. 2: Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění [1]

Hlavní zákonitosti elektroeroze: [1]

- podléhají jí všechny elektricky vodivé materiály
- může probíhat v plynném i kapalném prostředí (dielektriku)
- vhodným zapojením a volbou pracovních parametrů elektrického obvodu lze dosáhnout dvou druhů výbojů:
 - oblouk, tj. stacionární výboj
 - jiskra, tj. nestacionární výboj
- výboje probíhají mezi elektrodami ve vzdálenosti $5 \mu\text{m}$ až $100 \mu\text{m}$

Fyzikální pochod úběru materiálu: [1]

- Obrábění probíhá mezi dvěma elektrodami
- Elektrody jsou ponořeny do dielektrika
- Výboj vznikne přivedením elektrického napětí na elektrody; intenzita jeho působení závisí na:
 - elektrických parametrech výboje
 - vzdálenosti mezi elektrodami
 - znečištění dielektrika
 - vodivosti dielektrika
- K výboji dochází v místě nejsilnějšího elektrického napěťového pole poté, co pohyb volných záporných a kladných iontů v elektrickém poli dosáhne postupně vysoké rychlosti a po překonání odporu dielektrika dojde k vytvoření vodivého (ionizovaného) kanálu mezi elektrodami, tzv. *výbojového kanálu*.
- V místě výboje vzniká teplota 3 000 °C až 12 000 °C, dochází k tání a odpařování materiálu elektrod. Současně se vypařuje dielektrikum, vznikají bubliny, které praskají a vzniklé dynamické síly odebírají v místě výboje z obrobku částičky materiálu.
- Přerušením (vypnutím) elektrického obvodu dojde ke snížení teploty, poklesu tlaku plynů a roztavený materiál je odstraněn z místa výboje, vznikne kráter, jehož objem je řádově 10^{-3} mm^3 až 10^{-5} mm^3 .
- Zaniká výboj i bublina, do vzniklého kráteru vniká dielektrikum, které ochlazuje roztavený materiál i elektrody (odebraný materiál zůstává v dielektriku ve formě spalin a mikročástic).

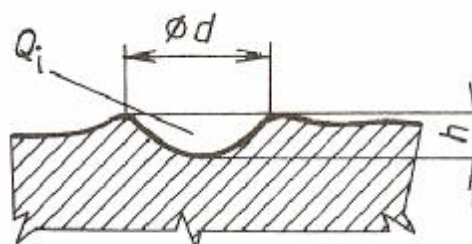
Celkové množství materiálu odebraného výbojem se rozloží na úběr na anodě a úběr na katodě. Cílem procesu je dosáhnout opakovanými výboji na elektrodě, kterou tvoří obrobek, maximálního úběru materiálu a na elektrodě, kterou tvoří nástroj, minimálního opotřebení (tj. úběru), a to při požadované produktivitě, tvarové přesnosti a jakosti opracované plochy. [1]

Podmínky, kterými je možno proces ovlivnit jsou: [4]

- způsob dodání energie – zapojení obvodu, polarita, elektrické charakteristiky výbojů, doba jejich trvání a četnost (frekvence)
- volba materiálu nástrojové elektrody pro obráběný materiál a účel použití
- vhodné pracovní prostředí – dielektrikum a jeho vlastnosti

3.2 Charakteristika výbojů

Velikost a tvar kráteru vzniklé výbojem jsou závislé na době trvání a energii výboje. Velikost kráteru má vliv na jakost obráběného povrchu, účinnost procesu obrábění a na přesnost rozměrů obrobku. Úběrem materiálu za čas souvisí dosažená přesnost a drsnost povrchu. S zvětšujícím úběrem se zmenšuje přesnost a drsnost povrchu se zvětšuje. Množství odebraného materiálu je závislé na frekvenci výbojů a na energii výboje.



Obr. 3: Tvar kráteru vzniklého elektrickým výbojem [1]

Množství materiálu odebraného jedním výbojem Q_i : [1]

$$Q_i = k \cdot W_e \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$W_e = U_e \cdot I_e \cdot t_i \text{ (J)}$$

kde W_e je energie výboje,

k – součinitel úměrnosti pro katodu a anodu

U_e – střední napájecí napětí

I_e – střední napájecí proud

t_i – trvání pulzu

Podle časového průběhu dodání energie do místa výboje se elektrické výboje dělí a jsou charakterizovány takto: [1]

Druh výboje	elektrickou jiskrou	nestacionárním krátkodobým elektrickým obloukem
Trvání pulzu	krátké $t_i = 10^{-4} \text{ s až } 10^{-6} \text{ s}$	delší $t_i > 10^{-4} \text{ s}$
Časové využití periody výboje	malé hodnoty $q = 0,03 \text{ až } 0,2$	vyšší hodnoty $q = 0,2 \text{ až } 1$
Frekvence výbojů	vysoká	nižší
Hustota proudu v místě výboje	asi $10^6 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$	$10^2 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2} \text{ až } 10^3 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$
Ve výbojovém kanále převládá	elektronová vodivost	iontová vodivost
Teplota ve výbojovém kanále	vysoká až $12\,000 \text{ °C}$	nižší $3\,300 \text{ °C až } 3\,600 \text{ °C}$
Energie jednotlivých výbojů	nižší $W_e = 10^{-5} \text{ J až } 10^{-1} \text{ J}$	vyšší $W_e = 10^2 \text{ J}$
Používá se pro	menší úběry, tj. pro dokončovací operace	větší úběry, tj. pro hrubovací operace

3.3 Dielektrikum

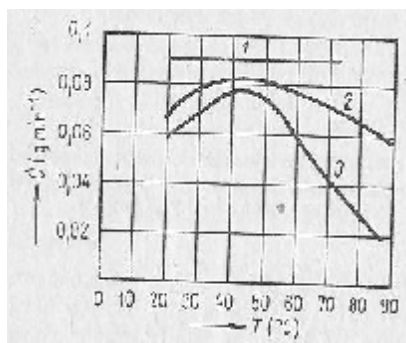
Na celý erozivní proces má dielektrická kapalina důležitý vliv, proto je zapotřebí věnovat zvláštní pozornost při výběru dielektrické kapaliny. Dielektrikum působí jako izolátor mezi elektrodami, odvádí teplo z pracovního prostředí, ohraničuje místo výboje a z něho odstraňuje odebraný materiál. Na nástrojové elektrodě zabraňuje usazování částic odebraného materiálu.

Má splňovat tyto požadavky: [3]

- Musí mít určitou průbojnost, která zajišťuje dostatečný odpor mezi anodou a katodou (vzdálenost může být menší než 0,01 mm) tak, aby průchod proudu mezi oběma elektrodami vyústil ve výboj. Výbojové napětí může být podle typu obvodu variabilní, u relaxačních obvodů 60 V až 300 V.
- Musí mít malou viskozitu a dobrou smáčivost, aby se rychle obnovovala izolace po výboji.
- Musí být chemicky neutrální k zamezení koroze
- Musí mít dostatečně vysokou teplotu hoření, aby nedocházelo k vzplanutí
- Nesmějí vznikat jedovaté plyny a nepříjemný zápach
- Musí být stálá, snadno vyrobitelná a laciná

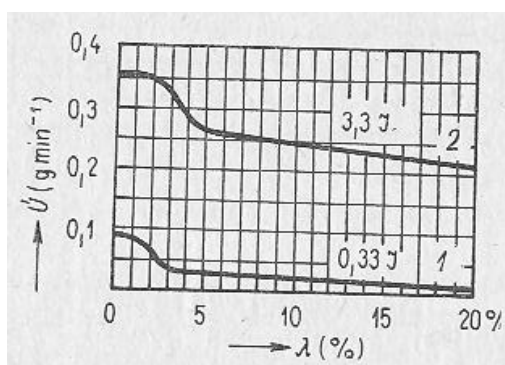
Používají se tyto dielektrika: petrolej, strojní olej, transformátorový olej, neionizovaná voda, destilovaná voda a speciální dielektrika od výrobců strojů.

Na obrázku 3 je diagram závislosti úběru kovu na druhu dielektrické kapaliny při různé teplotě. Křivka 1 je pro průmyslový petrolej, křivka 2 pro transformátorový olej a křivka 3 pro strojní olej. [3]



Obr. 4: Vliv teploty dielektrika na úběr materiálu [3]

Na obrázku 4 je vliv znečištění dielektrické kapaliny na účinnost procesu. Křivka 1 je pro energii výboje 0,33 J, křivka 2 pro 3,33 J. Diagram ukazuje všeobecnou povahu tohoto vlivu. Při znečištění do 2 % je účinnost téměř stejná, mezi 2 % až 4 % znečištění již znatelně klesá, a to zvláště při malých energiích výboje o 30 % až 40 % normální účinnosti. Vysvětluje se to tím, že s přibývajícím energií (výbojovou) se stává dielektrická mezera větší, takže odpad lze snadněji odstraňovat a dielektrikum se v místě výbojů tolik neznečišťuje. [3]



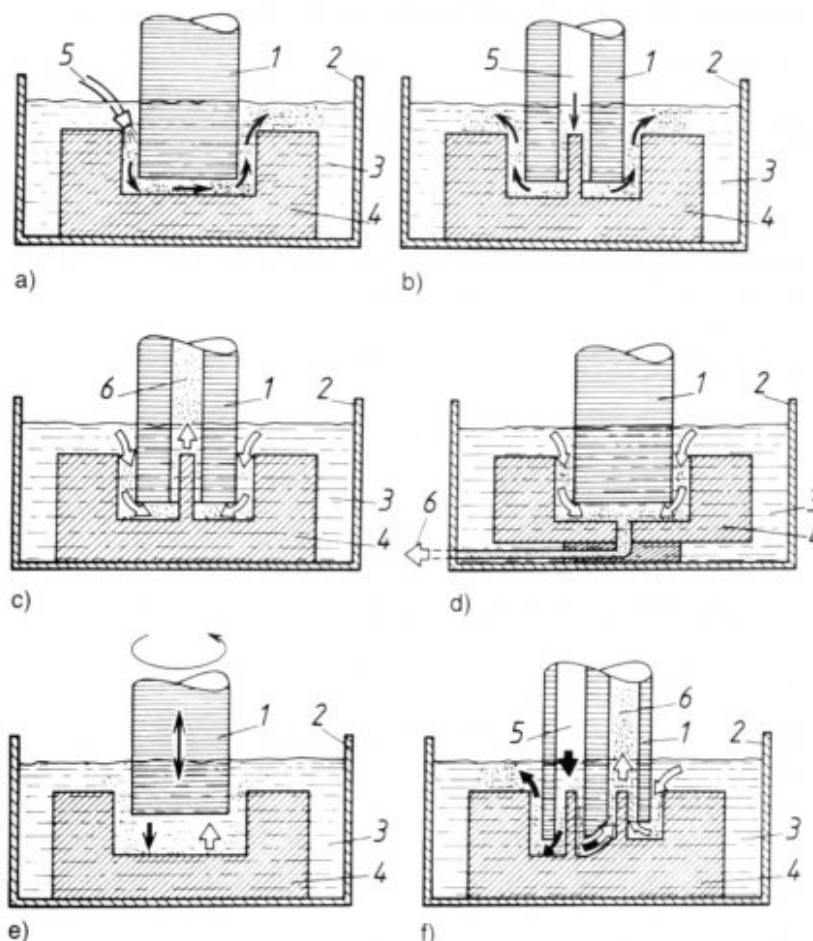
Obr. 5: Vliv stupně znečištění na velikost úběru materiálu [3]

Do zařízení z pracovního prostoru je dielektrikum odváděno pro přívod, čištění a chlazení. Cílem zařízení je zbavit dielektrikum nečistot, které vznikají při obrábění, přivádět dielektrikum v požadovaném množství do pracovního prostoru stroje a pod tlakem, který je požadován a zajistit tepelnou stálost stroje (výsledná přesnost obrábění).

Vyplachování, neboli přívod dielektrika mezi nástrojovou elektrodu a obrobek může být několika způsoby.

- **Vnější vyplachování** (Obr. 5a) - nejčastěji se používá na obrábění dutin v větší hloubkou, vhodná kombinace s pulzním vyplachováním
- **Vnitřní tlakové vyplachování** (Obr. 5b) - v nástrojové elektrodě je vytvořen otvor pro přívod dielektrika do pracovního prostoru. Nepříznivým vlivem jsou zde odváděné částice odebraného materiálu, které jsou zdrojem nežádoucích výbojů na bocích dutiny (především v horní části) a to má za následek horší tvarovou přesnost.

- **Vyplachování odsáváním** (Obr. 5c) - zaručuje velmi dobrou tvarovou přesnost. Odsávání je možné provést dutinou v nástrojové elektrodě nebo v obrobku.
- **Pulzní vyplachování** (Obr. 5e) - vhodný pro hluboké dutiny při použití tenkých elektrod a pro dokončovací obrábění na čisto. Je založeno na krátkém přerušení elektroeroze (0,15 s až 10 s) a na oddálení nástrojových elektrod od obrobku (0,02 mm až 10mm), zvětší se pracovní mezera a dokonale se vypláchne. Někdy je oddálení elektrody doprovázeno jejím otáčením. Po nastavení optimální mezery je napájecí proud opět zapnut.
- **Kombinované vyplachování** (Obr. 5f) - je kombinací vnitřního tlakového vyplachování a odsávání. Tímto lze odstranit chyby tvaru obráběné dutiny a můžeme tak hloubit složité tvarové dutiny.



Obr. 6: Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu – vyplachování

- a) vnější, b) tlakové vnitřní, c),d) odsáváním, e) pulzní, f) kombinované
 1 - nástrojová elektroda, 2 - pracovní vana, 3 – dielektrikum, 4 – obrobek,
 5 – přívod dielektrika, 6 – odsávání dielektrika [1]

3.4 Nástrojové elektrody

Nástrojové elektrody jsou pro elektroerozivní stroje důležitou součástí, a to ze směru ekonomického i technického (ovlivňují výkon obrábění, jakost a přesnost obrobené plochy). Pro každý případ obrábění se nástrojová elektroda navrhuje samostatně. Výroba elektrody činí až 50 % celkových výrobních nákladů. Proto je nutné dbát na materiál elektrody, způsob výroby, způsob upnutí na stroji, uložení, identifikaci a systém výměny v zásobníku nástrojů.

Nástrojové elektrody lze vyrobit z materiálu, které mají: [1]

- dobrou elektrickou vodivost
- dobrou tepelnou vodivost a tepelnou kapacitu
- vysoký bod tání a bod varu
- odolnost proti elektrické erozi
- vyhovující mechanickou pevnost
- stálost tvarů a malou tepelnou roztažnost
- dobrou obrobitelnost

Mezi takové materiály patří: grafit, kompozice grafitu a mědi, elektrolytická měď, slitina wolframu a stříbra, slitina wolframu a mědi, slitina chromu a mědi, mosaz, ocel.

Materiál ze kterého je nástrojová elektroda vyrobena se volí podle materiálu obrobku, relativního objemového opotřebení nástrojové elektrody a stroje.

Malé opotřebení elektrod nám zlepšuje vyšší přesnost, stabilitu, snižuje náklady na opracování, díky snížení počtu elektrod využitých na jednu operaci.

Důvody opotřebení elektrod jsou: [3]

- Oddělování jednotlivých iontů nebo celých částeczek kovu v důsledku velké hustoty elektronů ve výbojovém povrchu
- Rozrušení elektrody v důsledku kolísání proudu výboje nebo vlivem polaritý výboje
- Rozrušení v důsledku termických vlivů (vysoká teplota při výboji, nepravidelný ohřev součásti a elektrody během výboje).
- Rozrušení v důsledku mechanických nárazů částeczek oddělených od obráběného materiálu
- Chyby v materiálu elektrody (pórovitost nebo struktura)
- Velké opotřebení v důsledku nepříznivých pracovních podmínek (špatná cirkulace dielektrika, vysoká hustota proudu apod.)

Na snižování opotřebení elektrod nástrojů, lze působit několika faktory. Nutnou podmínkou je prodloužení trvání výboje. Aby však byla dostačující produktivita obrábění při polodokončování, je nutné volit velký počet výbojů o velmi slabé energii z hlediska drsnosti povrchu. U klasických generátorů je frekvence jisker při polodokončovacích operacích 3 000 Hz až 5 000 Hz a při konečném opracování 10 000 Hz až 33 000 Hz. Nemají-li se elektrody během výboje opotřebit, musí se minimální trvání jednoho výboje pohybovat v rozmezí 1/ 3 000 s až 1/ 5 000 s. [3]

Při stanovení rozměrů nástrojových elektrod se vychází z: [1]

- požadovaného rozměru dutiny
- velikosti pracovní mezery – je funkcí pracovních parametrů generátoru, volí se z normativů dodávaných výrobcem strojů
- požadované drsnosti obrobeného povrchu – je funkcí pracovních parametrů generátoru a tvarové chyby vzniklé např. při hrubování (dané způsobem vyplachování, tvarem dutiny apod.); při výrobě ostrých rohů je nutná korekce tvaru nástrojové elektrody
- tloušťky narušeného povrchu – má význam pouze při velkých energiích výbojů (obvykle dosahuje hodnot 0,005 mm až 0,01 mm)
- minimální hodnoty Mm o kterou musí být nástroj menší pro dosažení požadovaného průměru dutiny

Například rozměr hrubovací elektrody na hloubení dutiny kruhového tvaru se určí takto (Obr. 6): [1]

$$d = D - 2(a + R_{\max} + z) = d - 2M_m$$

kde d je průměr nástrojové elektrody

D - požadovaný rozměr dutiny

a - velikost pracovní mezery

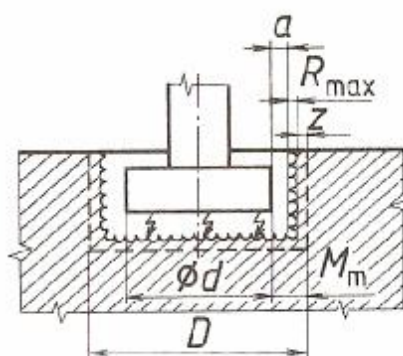
R_{\max} - požadovaná drsnost obrobeného povrchu

z - tloušťka narušeného povrchu

M_m - minimální hodnota, o kterou musí být nástroj menší pro dosažení požadovaného průměru dutiny

Stanovení rozměru dokončovací elektrody je dáno vztahem

$$d = D - 2a$$



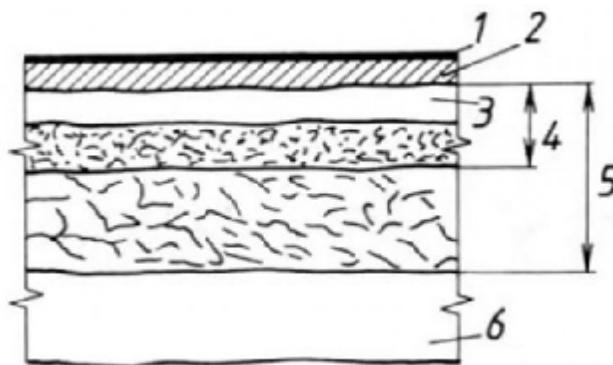
Obr. 7: Stanovení rozměru hrubovací nástrojové elektrody [1]

3.5 Kvalita povrchu

Kvalita povrchu opracované plochy je dána její drsností a také jejím stavem, tj. složením. Technologické parametry, tj. přesnost rozměrů a jakost obrobeného povrchu, dosahované při elektroerozivním obrábění, jsou v Tab. 3.5. Dosahovaný úběr materiálu obrobku činí $5 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ až $10 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Typické složení vrstvy povrchu obrobeného elektroerozivním obráběním ukazuje Obr. 7. [1]

Způsob obrábění	Dosažitelná přesnost rozměrů (mm)	Dosažitelná jakost obrobce- ného povrchu R_a , R_{max} (μm)
Opracování nahrubo pulzní zdroje velká energie výboje (hloubení)	$\pm 0,02$ až $\pm 0,5$	$R_a > 6$ $R_{max} \sim 25$
Normální opracování pulzní zdroje	$\pm 0,01$ až $\pm 0,02$	$R_a = 2$ až 6 $R_{max} = 8$ až 25
Jemné a velmi přesné obrábění, vysokofrekvenční zdroje řezání drátovou elektrodou	$\pm 0,005$ až $\pm 0,01$	$R_a = 0,8$ až 2 $R_{max} < 6$
Elektroerozivní leštění (přesné řezání drátovou elektrodou)	až $\pm 0,002$	$R_a = 0,2$ až $0,8$ $R_{max} < 2,5$ až 4

Tab. 3.5: Parametry obrábění dosahované elektroerozivním obráběním [1]



Obr. 8: Složení povrchu opracované plochy [9]

- 1 – mikrovrstva tvořená chemickými sloučeninami vzniklými difúzí prvků dielektrika
- 2 – vrstva obsahující prvky materiálu nástrojové elektrody
- 3 – tzv. bílá vrstva (silně nauhličená znovu ztuhlá tavenina martenzitické struktury)
- 4 – pásmo tepelného ovlivnění (zakalený a popuštěný základní materiál obrobku)
- 5 – pásmo plastické deformace vyvolané rázy pulzů
- 6 – základní materiál obrobku

3.6 Elektroerozivní stroje

Nejdůležitější části elektroerozivních strojů: [3]

- Rám stroje, v němž jsou uloženy všechny ostatní části. Musí mít dostatečnou tuhost, geometrickou přesnost a stabilitu při provozu, bývá obvykle z litiny
- Pracovní suport s nástrojem s jedním nebo dvěma vedeními na rámu
- Pracovní stůl pro upnutí obrobku a manipulaci s ním a pro nádobu na dielektrickou kapalinu
- Zásobní nádrž s čerpadlem, potrubím, čistícími filtry, chladícím zařízením pro dielektrickou kapalinu
- Generátor pro vytváření elektrických impulzů, který určuje a ovlivňuje hlavní technologické a kvalitativní parametry elektroerozivního obrábění. Je nejdůležitější částí stroje, určuje a ovlivňuje hlavní technologické a kvalitativní parametry

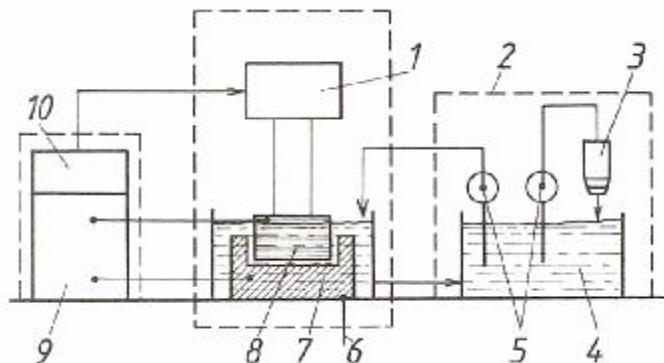
3.7 Technologické aplikace elektroerozivního obrábění

Mezi technologické aplikace elektroerozivního obrábění patří: hloubení dutin, zápusťek a forem, řezání drátovou elektrodou, výroba složitých tvarových povrchů, leštění povrchů, výroba malých otvorů, elektrokontaktní obrábění.

3.7.1 Hloubení dutin zápusťek a forem

Nejčastější je hloubení dutin při výrobě střižných nástrojů, forem pro lití a lisování plastických hmot, zápusťek a tvářecího nářadí. Je ekonomicky výhodné již při malých počtech kusů. Vývoj z prostého kopírovacího obrábění (pohyb negativního tvarového nástroje pouze v ose z) přes zavedení tzv. vychylovačů elektrod umožňujících řízené obrábění v rovině xy až k dnešním CNC řízeným strojům, s pohybem až v šesti osách. To umožňuje například vytváření úkosů při

výrobě forem a dosažení vysoké přesnosti (0,01 mm) i drsnosti povrchu ($R_a = 0,8 \mu\text{m}$ až $0,4 \mu\text{m}$). [4]



Obr. 9: Schéma elektroerozivního stroje [1]

1 – pracovní hlava, 2 – filtrační zařízení, 3 – filtr, 4 – dielektrikum,
5 – čerpadlo, 6 – pracovní stůl, 7 – obrobek, 8- nástrojová elektroda,
9- generátor, 10 – CNC řídicí systém

3.7.2 Řezání drátovou elektrodou [1]

Metoda umožňuje vyrábět tvarové přímkové plochy, tzn. Tvořící čarou těchto ploch je přímka.

Stroj pro elektroerozivní řezání drátovou elektrodou sestává z těchto hlavních skupin: CNC řídicí systém, generátor pulzů, systém dodávání a filtrace dielektrika, systém podávání a vedení drátové elektrody, drátová elektroda a upínač obrobků. Některé skupiny jsou shodné se stroji pro hloubení dutin zápustek. Rozdíl je v nástrojových elektrodách a v systému podávání a vedení drátové elektrody.

Nástrojová elektroda je tvořena tenkým drátem, který se pomocí speciálního zařízení odvíjí, aby se předešlo jeho nadměrnému opotřebení. Drát je většinou měděný, na větší průměry se používá mosazný a na velmi jemné řezy se používá molybdenový drát o průměru 0,03 mm až 0,07 mm. Mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem vznikají elektrické výboje. Pracovní mezera mezi obrobkem a elektrodou

se vytváří samočinně úběrem materiálu obrobku před elektrodou. Nástrojová elektroda tvořená drátem je nástroj, který může odebírat materiál v každém směru, což umožňuje ve spojení se šesti osami souřadnic řízenými CNC řídicím systémem obrábět přesně i velmi složité tvary. Způsob zapojení nástrojové elektrody a obrobku do elektrického obvodu je dán polaritou a typem výbojů. U moderních strojů s tranzistorovými generátory pulzů se používá tzv. *přímá polarita*, tj. nástrojová elektroda jako katoda a obrobek jako anoda.

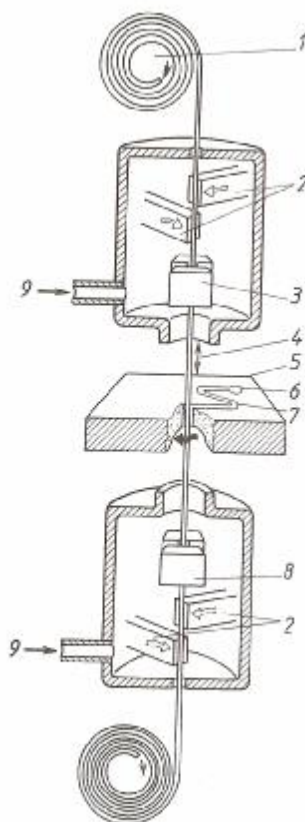
Drátová elektroda musí mít kromě vysoké elektrické vodivosti zejména

- dostatečnou mechanickou pevnost
- vysokou přesnost rozměru drátu, tj. úzké tolerance průměru
- vysokou tvarovou přesnost (kruhovitost)

Je důležité, aby nástrojová elektroda vstupovala do místa řezání dokonale napnutá a vyrovnaná. Proto je drát před vstupem do pracovního prostoru stroje kalibrován na požadovaný průměr diamantovým průvlakem, veden a napínán, což zajišťuje systém podávání a vedení nástrojové elektrody (Obr. 9). Tento systém umožňuje naklopení nástrojové elektrody vzhledem ke kolmé ose v rozsahu $\pm 30^\circ\text{C}$.

Dosahované technologické parametry:

- maximální úběr materiálu $35\text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ až $200\text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$
- rovnoběžnost řezu do $2\text{ }\mu\text{m}$ na 100 mm tloušťky materiálu
- jakost obrobeného povrchu $R_a = 0,15\text{ }\mu\text{m}$ až $0,3\text{ }\mu\text{m}$
- přesnost rozměrů a tvaru obrobeného povrchu závisí na tepelné stabilizaci stroje:
 - při kolísání teploty $\pm 3^\circ\text{C}$ je přesnost $\pm 3\text{ }\mu\text{m}$
 - při kolísání teploty $\pm 1^\circ\text{C}$ je odchylka $\pm 1\text{ }\mu\text{m}$
- maximální tloušťka řezaného materiálu 350 mm



Obr. 10: Schéma podávání a vedení drátové elektrody

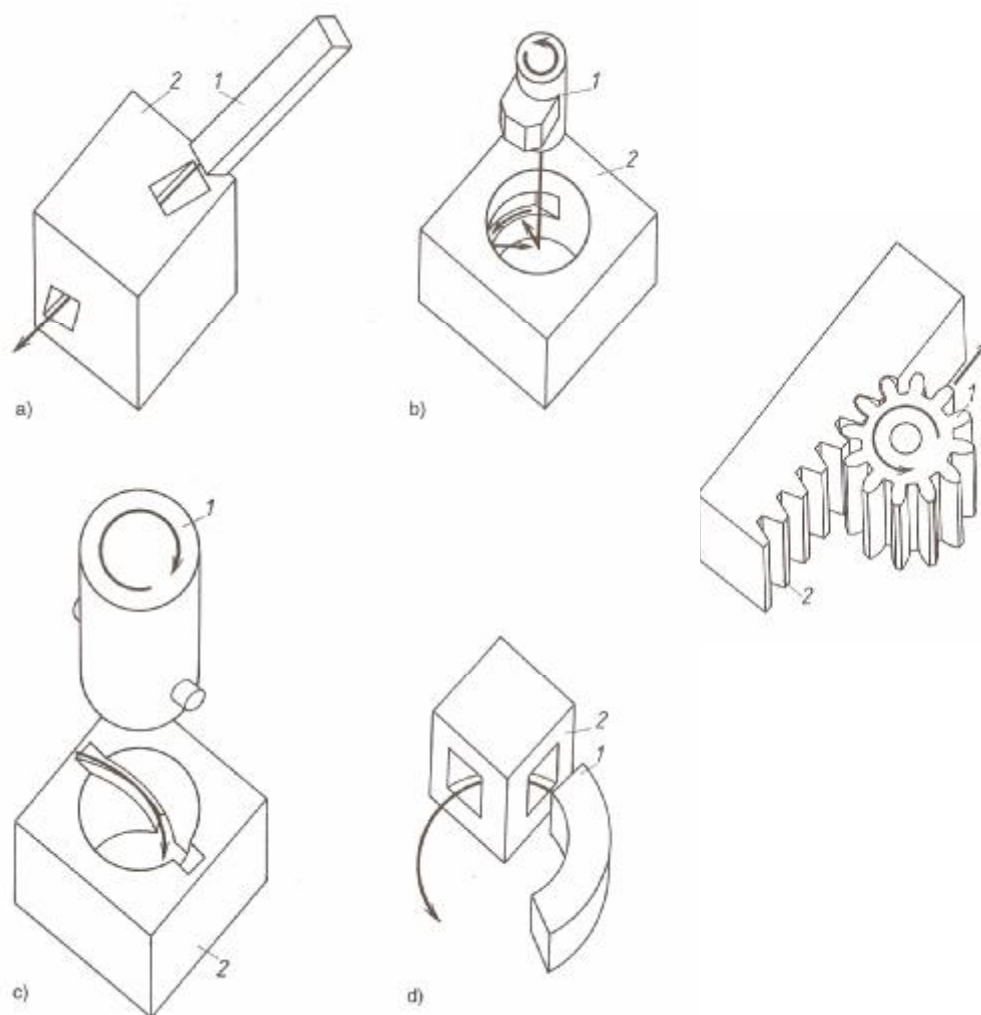
- 1 – zásobník drátu, 2 – přívod výbojového proudu,
 3 – horní vedení drátu, 4 – napínání drátu,
 5 – obrobek, 6 – startovací díra, 7 – řezaný tvar,
 8 – dolní vedení drátu, 9 – přívod dielektrika

Dosahované parametry při řezání tvarovou drátovou elektrodou:

- | | |
|---|--|
| - přesnost obrobených rozměrů | 0,1 mm |
| - jakost obrobeného povrchu | $R_a = 10 \mu\text{m}$ |
| - rychlost posuvného pohybu
nástrojové elektrody | $0,17 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ až $0,55 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ |
| - výhodné pro obrábění dutin o délce | větší než 70 mm |

3.7.3 Výroba složitých tvarových povrchů

Od hloubení dutin zápustek a forem se výroba složitých tvarových povrchů od sebe liší technologickým provedením nástrojové elektrody a tvarem obráběného povrchu. Jedná se o vnější tvar, průchozí díru nebo drážku. Použitím stroje s CNC řídicím systémem s více řízenými osami souřadnic, lze získat např. planetový pohyb.



Obr.11: Výroba povrchů kombinací tvaru a pohybů nástrojové elektrody [1]

- a) průchozí nekrhová díra, b) uzavřená drážka, c) drážka ve šroubovici,
- d) díra tvaru části kruhového oblouku, e) ozubený hřeben
- 1 – nástrojová elektroda, 2 – obrobek

3.7.4 Leštění povrchů

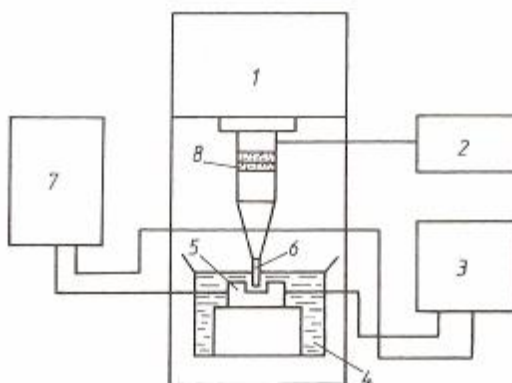
Velká většina zápustek a forem vyžaduje drsnost povrchu $Ra = 0,2 \mu\text{m}$, proto se vyvinula metoda elektroerozivní leštění. Používají se zde pulzy o nízké energii a krátké době trvání ($3 \mu\text{s}$ až $5 \mu\text{s}$). nástrojové elektrody se svým leštěným povrchem konají při práci *orbitální pohyb*. Aby vznikl lesklý povrch, lze leštit plochu do 100 cm^2 .

3.7.5 Výroba mikrootvorů

Elektroerozivní hloubení umožňuje vrtat kruhové i nekruhové otvory malých rozměrů od $0,02 \text{ mm}$ do 5 mm do hloubky 100 mm . Je třeba použít generátory pulzů o malé energii a krátké době trvání ($3 \mu\text{s}$ až $5 \mu\text{s}$). Stroj je vybaven optickým zařízením pro polohování nástroje a přípravkem pro vedení elektrody (skleněná kapilára). Nástrojové elektrody jsou vyrobeny z wolframu nebo tungstenu. Nástrojová elektroda vykonává kmitavý pohyb pro dobré vyplachování dielektrika.

Dosahované parametry: [1]

- přesnost otvoru je závislá na přesnosti nástrojové elektrody a na přesnosti stroje
- jakost opracovaného povrchu $Ra = 0,08 \mu\text{m}$ až $0,5 \mu\text{m}$



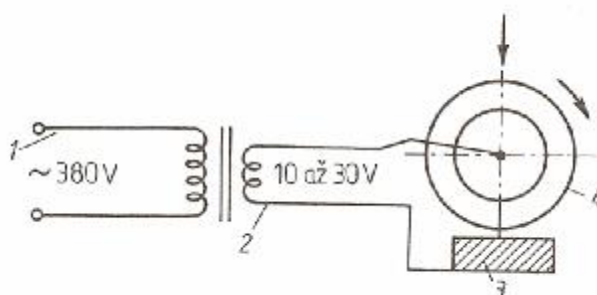
Obr. 12: Schéma stroje pro výrobu mikrootvorů elektroerozivní technologií [1]

1 – elektroerozivní stroj, 2 – ultrazvukový generátor, 3 – řídicí systém stroje,
4 – dielektrikum, 5 – obrobek, 6 – nástrojová elektroda, 7 – generátor pulzů

8 – převodník elektrických kmitů na mechanické kmity

3.7.6 Elektrokontaktní obrábění

Je to zvláštní případ elektroerozivního obrábění, kdy při úběru materiálu dochází elektrickými nestacionárními kontaktními obloukovými výboji. Iontová vodivost převládá ve výbojovém kanálu a elektrody jsou zapojeny na střídavé napětí. Transformátor je za zapojen na výkon 10 kW až 250 kW při frekvenci 50 Hz až 500 Hz. Doba výboje je až 0,01 s. Nástrojová elektroda koná otáčivý pohyb a tím dosahuje mechanického buzení kmitů a zabraňuje před svaření obrobku a nástroje. Pro zlepšení vyplachování dielektrika jsou na nástrojové elektrodě vytvořeny drážky.



Obr.13: Princip stroje pro elektrokontaktní dělení materiálů [1]

1 – napájecí zdroj, 2 – transformátor, 3 – obrobek, 4 – nástrojová elektroda

Dosahované parametry: [1]

- | | |
|--|--|
| - výkon obrábění | až $10^6 \text{ mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ |
| (tj. množství odebraného materiálu) | $100 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ až $500 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ |
| - tepelné ovlivnění obrobeného povrchu | |
| do hloubky | 0,2 mm až 5 mm |
| - velká energetická náročnost | řádově $\text{kW} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| - vznik ultrafialového záření | |
| - nízká kvalita obrobeného povrchu | |
| - vhodné pro řezání nálitků, vtoků, opracování svarů apod. | |

4. Návrh technologie pro konkrétní součást

Do softwaru stroje AGIE MONDO STAR 50 byly zaznamenány vstupní parametry, které nám určili proces obrábění. Stroj pracuje s bezrozměrnými hodnotami, proto jsou v experimentu uvedeny tyto hodnoty, které nebyly převedeny do soustavy jednotek SI. Povrch materiálu byl obráběn z měděné a grafitové elektrody. Po obrobení vzorků byl povrch změřen drsnoměrem. Pro každý vzorek byla změřená drsnost povrchu Ra a Rz. Každá obrobená plocha byla zvětšena (18x a 81x) a nafocena. Poté jsme obrobené povrchy mezi sebou porovnali a posoudili mezi sebou.

4.1 Zhotovení vzorků

Vzorky mají rozměr 150 x 40 x 20 mm. Do každého vzorku bylo vyhloubeno 5 čtverečků, pro které byly použity jiné parametry obrábění. Jeden vzorek byl obroben měděnou elektrodou a druhý vzorek elektrodou z grafitu.

Vzorky jsou označeny podle materiálu elektrody, která byla použita na daný vzorek a pozicí jak byly dané povrchy postupně obrobeny.

4.2 Použité elektrody

Význam grafitu spočívá v opotřebení elektrody, a to v hrubování (1 %) a u dokončovacích operacích (5 % - 10 %). Pokud používáme proud o slabé intenzitě, tak dojdeme k výsledkům, že opotřebení měděné i grafitové elektrody je téměř stejné. Naopak při zvýšené intenzitě proudu volumetrické opotřebení se u mědi zvyšuje a grafitu ubývá dokud se intenzita proudu nestabilizuje. Časový interval mezi výboji má za následek opotřebení obou materiálů. Grafit však má menší opotřebení než měď. Pokud se po elektrodě vyžaduje více otisků, dává se přednost grafitu. Grafit se hodí na obrábění, při kterém maximální drsnost povrchu je 15 μm

až 20 μm . Elektrody z grafitu jsou lehčí jak z mědi, proto se dají lépe ovládat. Grafit se nedoporučuje pro obrábění karbidů.

4.3 Stroj pro zhotovení vzorků

Ve firmě FOREZ s.r.o. je používán stroj pro hloubení AGIE MONDO STAR 50. Tento stroj umožňuje upnutí maximálního rozměru obrobku 1050 x 650 x 250 mm a o hmotnosti menší jak 500 kg. Obráběcí hlavy umožňují posuvy v rozmezích 500x350x350 mm. Maximální množství dielektrika v nádrži může být 250 litrů.



Obr. 14: Stroj AGIE MONDO STAR 50 [10]

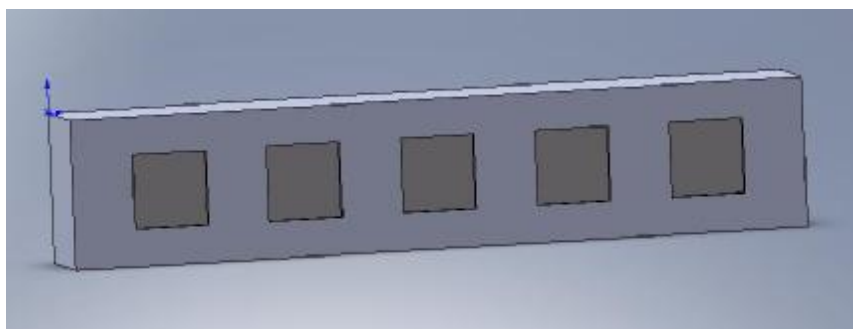
4.4 Materiál vzorků

Vzorky jsou vyrobeny z materiálu 19 312.4. Tato nízkolegovaná manganovanadová ocel se střední prokalitelností, při tepelném zpracování s velmi dobrou stálostí rozměrů, dobře obrobitelná, s dobrou houževnatostí i odolností proti opotřebení, má tvrdost 60 HRC. Používá se pro nástroje na stříhání, nástroje pro řezání, ruční nástroje, měřidla a formy.

5. Diskuse experimentu

Pro jednotlivé vzorky (viz. Obr.1) jsou vstupní hodnoty uvedené v tabulkách (viz. příloha 1 a 2) a zadány do softwaru stroje. Software zadaná data zpracuje a vyhodnotí nejvhodnější strategii obrábění. V mém případě jsem zadával proud menší, než proud předepsaný v tabulkách (viz. příloha 1 a 2). To mělo mít za následek zlepšení drsnosti povrchu, protože se zmenšujícím proudem I , se zmenšuje úběr materiálu obrobku. Naopak se zvyšuje opotřebení elektrody. Měření bylo provedeno drsnoměrem s diamantovou špicí, která přejížděla měřený povrch a na displeji se ukázala naměřená hodnota R_a a R_z .

Špatné zadání parametrů může vést až k přerušení obrábění a tím k poklesu produktivity.



Obr. 1: Zkušební vzorek

Mezi zkoumaný parametry jsem zařadil následující:

I	(A)	- střední vybíjecí proud
P	(μ s)	- délka pauzy
T	(μ s)	- délka impulzu
U	(V)	- napětí naprázdno
2 GAP	(mm)	- 2 x vyjiskřovací štěrbina
K	(-)	- třída drsnosti
Vw	(mm ³ /min)	- úběr
theta	(%)	- opotřebení (objemové)
Fp	(cm ²)	- průmětová plocha

Zkoumané parametry jsem zadal do tabulky a porovnal společně s naměřenými drsnostmi povrchu Ra a Rz.

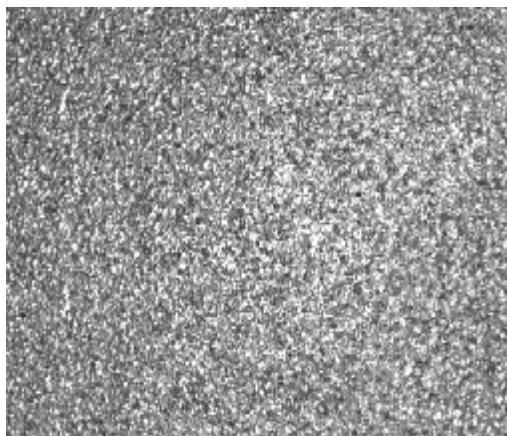
5.1 Vzorek C – 1

Vzorek je zhotoven z elektrody grafitu.

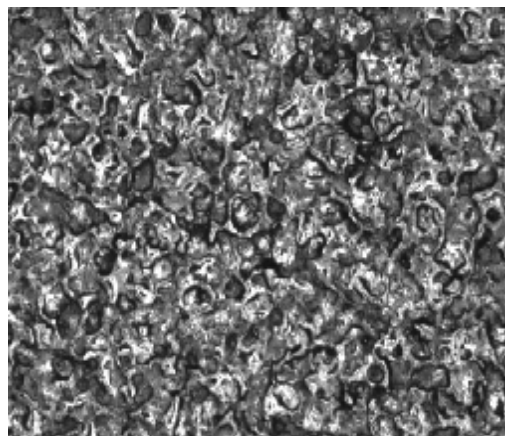
Tabulka zadanych hodnot

T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp
13	18	6	100	0,054	26	6,5	7	0,01

Naměřené drsnosti: Ra = 1,9 μm
Rz = 11,6 μm



Obr. 15: 18 x zvětšený povrch vzorku



Obr. 16: 81 x zvětšený povrch vzorku

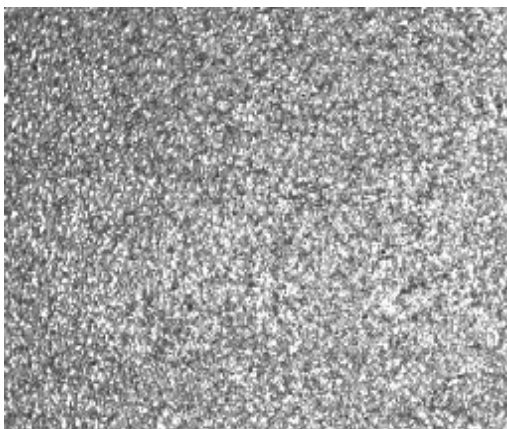
5.2 Vzorek C – 2

Vzorek je zhotoven z elektrody grafitu.

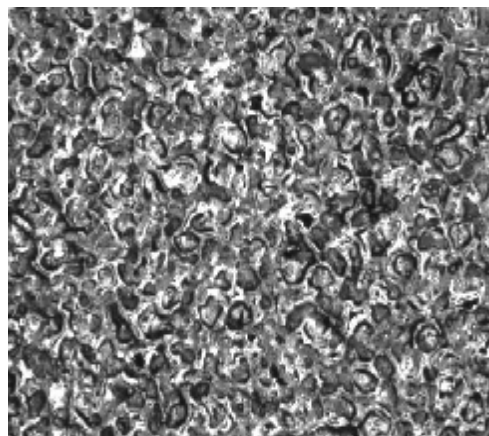
Tabulka zadanych hodnot

T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp
24	32	7	100	0,074	29	11	5	0,02

Naměřené drsnosti: $R_a = 2,62 \mu\text{m}$
 $R_z = 15,1 \mu\text{m}$



Obr. 17: 18 x zvětšený povrch vzorku



Obr. 18: 81 x zvětšený povrch vzorku

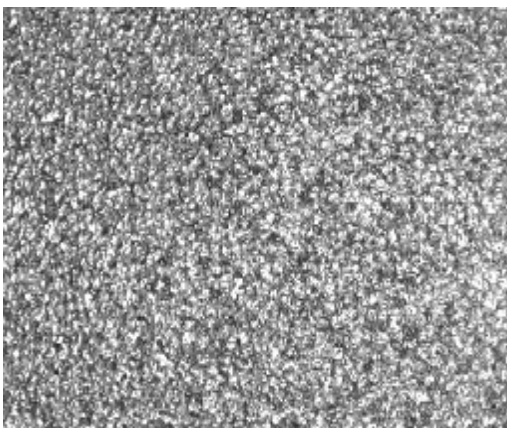
5.3 Vzorek C – 3

Vzorek je zhotoven z elektrody grafitu.

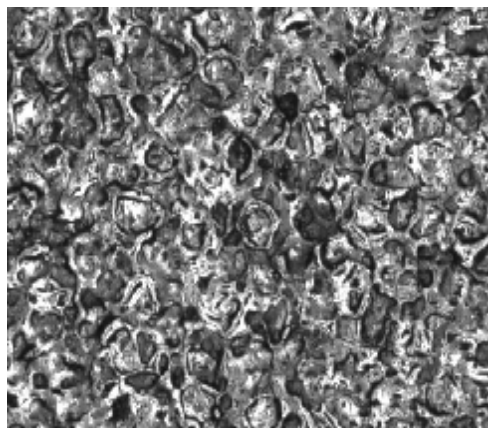
Tabulka zadanych hodnot

T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp
32	32	9	100	0,11	31	22	1	0,04

Naměřené drsnosti: $R_a = 3,3 \mu\text{m}$
 $R_z = 18,95 \mu\text{m}$



Obr. 19: 18 x zvětšený povrch vzorku



Obr. 20: 81 x zvětšený povrch vzorku

5.4 Vzorek C – 4

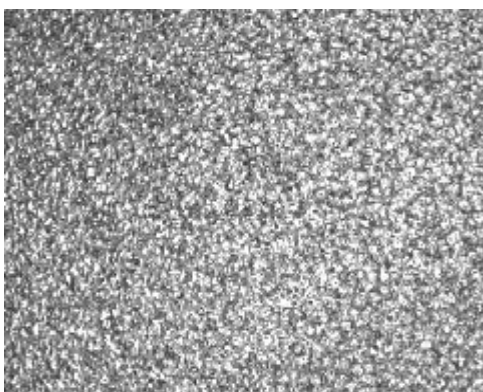
Vzorek je zhotoven z elektrody grafitu.

Tabulka zadaných hodnot

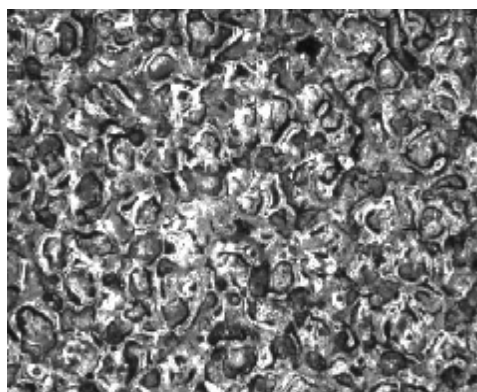
T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp
42	32	11	100	0,096	33	35	0,9	0,06

Naměřené drsnosti: $R_a = 4,15 \mu\text{m}$

$R_z = 22,6 \mu\text{m}$



Obr. 21: 18 x zvětšený povrch vzorku



Obr. 22: 81 x zvětšený povrch vzorku

5.5 Vzorek C – 5

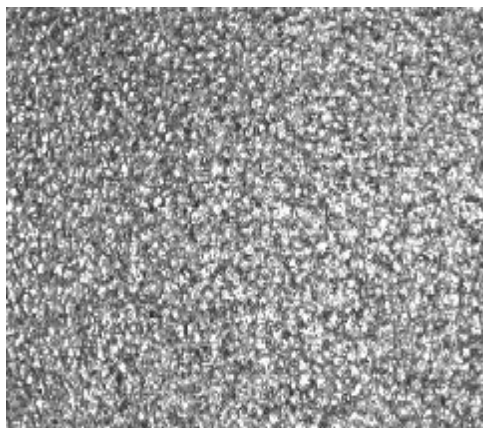
Vzorek je zhotoven z elektrody grafitu.

Tabulka zadaných hodnot

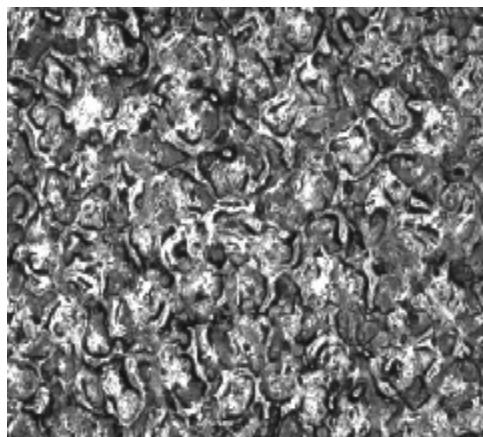
T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp
37	32	15	100	0,104	34	47	0,8	0,08

Naměřené drsnosti: $R_a = 4,84 \mu\text{m}$

$R_z = 25,72 \mu\text{m}$



Obr. 23: 18 x zvětšený povrch vzorku



Obr. 24: 81 x zvětšený povrch vzorku

5.6 Vzorek Cu - 6

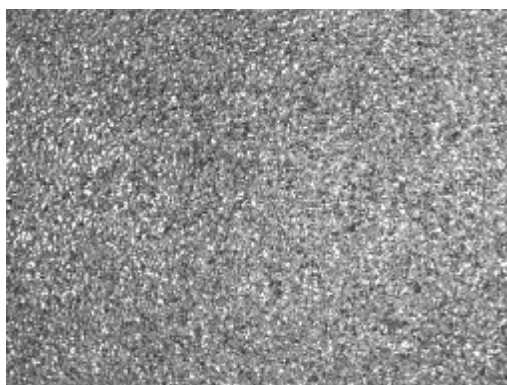
Vzorek je zhotoven z elektrody mědi.

Tabulka zadanych hodnot

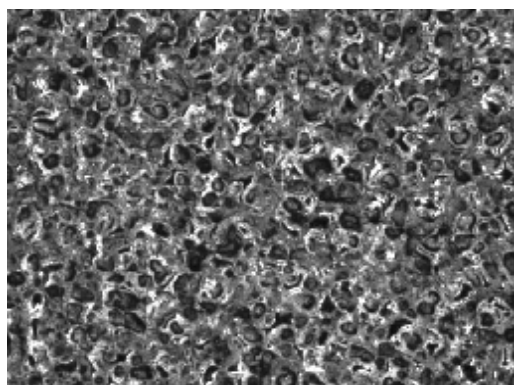
T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp
27	21	3	180	0,07	25	3	1,7	0,004

Naměřené drsnosti: $R_a = 1,62 \mu\text{m}$

$R_z = 10,3 \mu\text{m}$



Obr. 25: 18 x zvětšený povrch vzorku



Obr. 26: 81 x zvětšený povrch vzorku

5.7 Vzorek Cu - 7

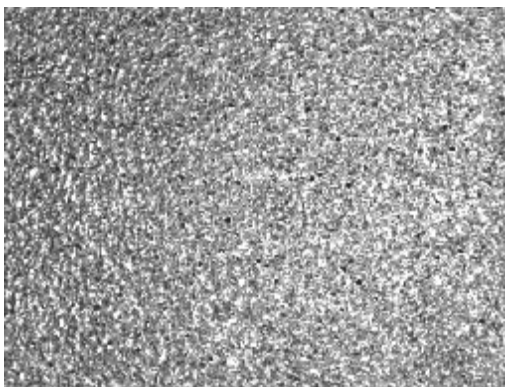
Vzorek je zhotoven z elektrody mědi.

Tabulka zadanych hodnot

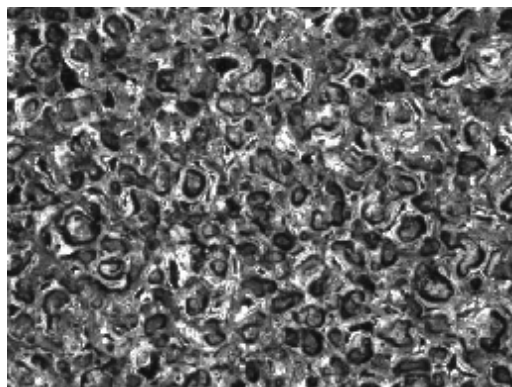
T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp
37	27	4	180	0,09	28	7	1,4	0,006

Naměřené drsnosti: $R_a = 2,1 \mu\text{m}$

$R_z = 14,02 \mu\text{m}$



Obr. 27: 18 x zvětšený povrch vzorku



Obr. 28: 81 x zvětšený povrch vzorku

5.8 Vzorek Cu - 8

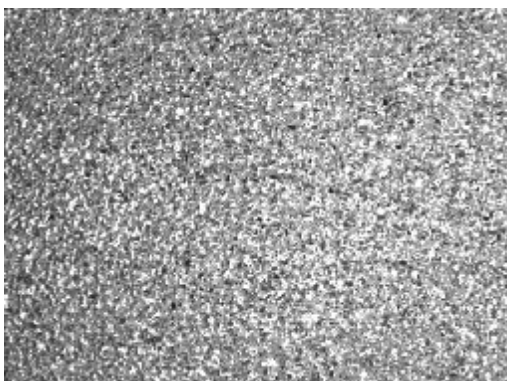
Vzorek je zhotoven z elektrody mědi.

Tabulka zadanych hodnot

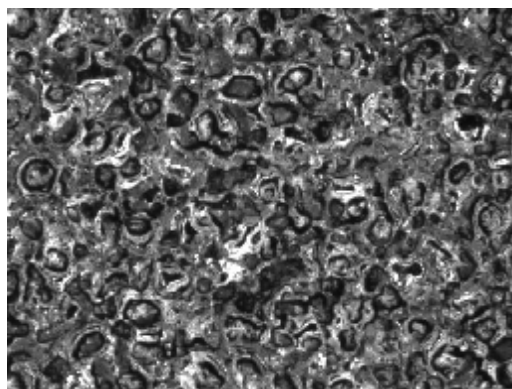
T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp
75	37	5,5	180	0,11	30	12	1,1	0,01

Naměřené drsnosti: $R_a = 2,85 \mu\text{m}$

$R_z = 17,64 \mu\text{m}$



Obr. 29: 18 x zvětšený povrch vzorku



Obr. 30: 81 x zvětšený povrch vzorku

5.9 Vzorek Cu - 9

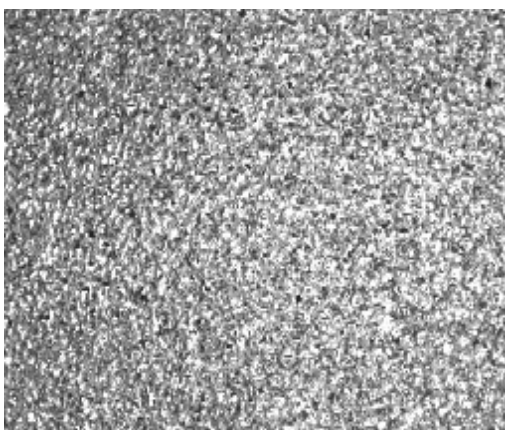
Vzorek je zhotoven z elektrody mědi.

Tabulka zadanych hodnot

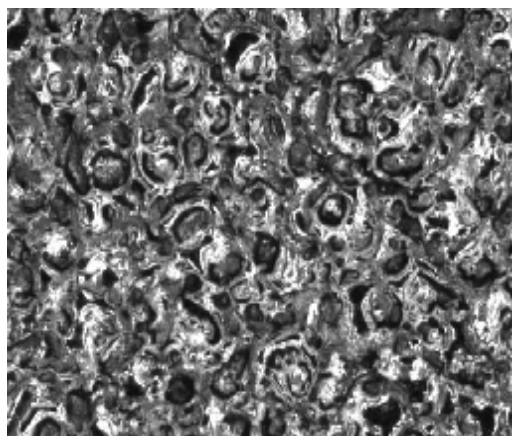
T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp
100	42	7	100	0,15	32	24	1,1	0,05

Naměřené drsnosti: $R_a = 3,59 \mu\text{m}$

$R_z = 21,62 \mu\text{m}$



Obr. 31: 18 x zvětšený povrch vzorku



Obr. 32: 81 x zvětšený povrch vzorku

5.10 Vzorek Cu - 10

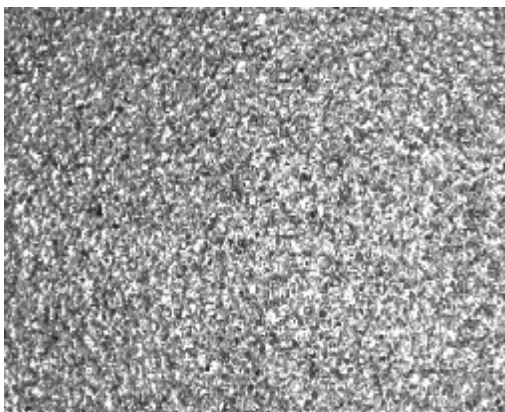
Vzorek je zhotoven z elektrody mědi.

Tabulka zadanych hodnot

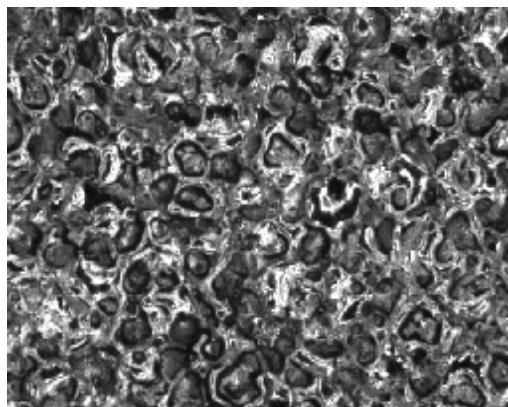
T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp
133	49	9	100	0,2	34	35	0,5	0,1

Naměřené drsnosti: $R_a = 4,64 \mu\text{m}$

$R_z = 26,84 \mu\text{m}$



Obr. 33: 18 x zvětšený povrch vzorku



Obr. 34: 81 x zvětšený povrch vzorku

6. Zhodnocení experimentu

Z výsledné tabulky všech hodnot lze vyčíst, že při obrábění měděnou elektrodou je délka impulzů větší a délka pauzy mezi výboji je delší, než u elektrody z grafitu. Se zvětšující se průměrovou plochou se zvětšuje proud a snižuje objemové opotřebení elektrod. Největší opotřebení je však u malých proudů, kde u elektrody z grafitu může být až 50 % a u měděných elektrod může nabýt až 25 %. Se zvětšujícím se proudem však tyto hodnoty hodně rychle klesají.

Z naměřených hodnot drsností Ra a Rz na obrobku byly zjištěny lepší drsnosti povrchu, než v tabulkách (viz. příloha 1 a příloha 2). Je to způsobeno zadaným menším proudem do softwaru stroje. Pokud zadáme menší proud, zmenší se energie výboje. Tím dosáhneme menšího množství odebrání materiálu na obrobku a zlepšíme drsnost povrchu. Nevýhodou je rychlejší opotřebení elektrody.

	Hodnoty z tabulky									Naměřené hodnoty	
Vzorek	T	P	I	U	2 GAP	K	Vw	THETA	Fp	Ra	Rz
C - 1	13	18	6	100	0,054	26	6,5	7	0,01	1,9	11,6
C - 2	24	32	7	100	0,074	29	11	5	0,02	2,62	15,1
C - 3	32	32	9	100	0,11	31	22	1	0,04	3,3	18,95
C - 4	42	32	11	100	0,096	33	35	0,9	0,06	4,15	22,6
C - 5	37	32	15	100	0,104	34	47	0,8	0,08	4,84	25,72
Cu - 1	27	21	3	180	0,07	25	3	1,7	0,004	1,62	10,3
Cu - 2	37	27	4	180	0,09	28	7	1,4	0,006	2,1	14,02
Cu - 3	75	37	5,5	180	0,11	30	12	1,1	0,01	2,85	17,64
Cu - 4	100	42	7	100	0,15	32	24	1,1	0,05	3,59	21,62
Cu - 5	133	49	9	100	0,2	34	35	0,5	0,1	4,64	26,84

Výsledná tabulka všech hodnot

7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zjistit kvalitu obrobených ploch a porovnání technologických parametrů při elektroerozivním obrábění. Byly porovnány také dvě různé elektrody mezi sebou. Vzorky byly vyrobeny ve firmě FOREZ s.r.o., kde proběhlo i měření výsledných drsností Ra a Rz.

Naměřené hodnoty drsností nám ukázaly, jak velký vliv mají vstupní parametry stroje na výslednou vrstvu obrobeného povrchu. Především se jedná o střídavý vybíjecí proud, délky impulzu a napětí. Při správném zadání vstupních parametrů lze ovlivnit kvalitu povrchu obrobku, životnost nástroje i výrobní časy. Toto má veliký význam ve směru ekonomickém a na produktivitě práce.

8 Seznam použitých pramenů

- [1] ŘASA, Jaroslav; POKORNÝ, Přemysl; GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3 – 2.díl, Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. Pedagogické nakladatelství Scientia, spol. s.r.o., Praha 6 – Břevnov, Radimova 37/50, 169 00, 2001, 1. vydání.
- [2] DRÁB, Vojtěch a kolektiv. *Technologie I*. Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, fakulta strojní, katedra obráběcích strojů a díl. měření, v červnu 1979, 1. vydání.
- [3] VINGER, M.; PŘIKRYL, Z. a kolektiv. *Obrábění*. Státní nakladatelství technické literatury, n.p., Praha 1, Spálená 51, 1984, 800 s. 04-250-84.
- [4] MÁDL, Jan; KAFKA, Jindřich; VRABEC, Martin; DVOŘÁK, Rudolf. *Technologie obrábění – 3. díl*, ČVUT v Praze, 2000, ISBN 80-01-02091-6.
- [5] VASILKO, K.; NOVÁK – MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80– 7099–995– 0.
- [6] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina: EDIS Žilina, 2007, 343 s. ISBN 978- 80- 8070- 711- 8.
- [7] BRYCHTA, J.; HAVRILA, M.; JURKO, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábaní, I. Část – Obrábané materiály*. Žilina: Media / ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80- 968954- 2-7.
- [8] FOREZ s.r.o.
<http://www.forez.cz/page.php?a=historie&i=historie&l=cz>
- [9] MM průmyslové spektrum
<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni>

[10] AGIE hloubičky

<http://www.agiecharmilles.cz/agieedm.html#mondo2050>

9. Seznam příloh

Příloha č. 1: Tabulka hodnot – měď / ocel

Příloha č. 2: Tabulka hodnot – grafit / ocel

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat firmě FOREZ s.r.o. za poskytnutí potřebných materiálů a rady, při dané problematice. Poděkování je obzvlášť vedoucímu technologie panu Janu Otevřelovi.

Další poděkování patří panu Doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. za pomoc při tvoření bakalářské práce.